

## Flotasyon Süresinin Mürekkep Giderme İşlemi ve Hamur Kalitesine Etkisi

Sami İMAMOĞLU, Emrah PEŞMAN

Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Artvin

### *Eser Bilgisi:*

*Araştırma makalesi*

*Sorumlu yazar: Sami İMAMOĞLU, e-mail: [imamoglusami@artvin.edu.tr](mailto:imamoglusami@artvin.edu.tr)*

---

### ÖZET

Bu çalışmada flotasyon esasına dayalı mürekkep giderme sisteminde, uygulanan flotasyon süresinin mürekkep uzaklaştırma işlemine ve elde edilen hamurlarının fiziksel nitelikleri üzerine etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Tek yüzeyleri baskılı ofis kâğıtlarının mürekkepleri Degussa flotasyon sistemi kullanılarak giderilmiştir. Hamurlaştırma işleminde Formamidin Sülfirik Asit kullanılmış ve hamurlaştırma aşamasında sıcaklık, hamurlaştırma süresi, kimyasal madde dozajı ve kesafet bütün denemelerde aynı tutulmuştur. Flotasyon aşamasında kesafet, karıştırma hızı, hava miktarı gibi tüm işlem şartları sabit tutulurken yalnızca flotasyon süreleri (0, 3, 6, 9, 12 ve 15 dak.) değiştirilerek elde edilen hamurun kalitesine, verimine, dolgu maddesi-lif dengesine ve atık su kalitesine etkileri incelenmiştir. Flotasyon süresinin artışına paralel olarak elde edilen hamurların optik niteliklerinde ciddi anlamda iyileşmeler gözlenirken belli noktadan sonra optik niteliklerde herhangi bir kazanım elde edilememiştir. Flotasyon hücresinin üst kısmından belirli aralıklarla flotasyon çamurunun sıyırılması sonucu hamur kaybı beklenti doğrultusunda artış göstermiştir. Flotasyon süresinin artışıyla birlikte belli bir noktaya kadar çamur içerisindeki dolgu maddesi oranında artış görülürken organik lif oranında azalma görülmüştür. Diğer yandan hamur içerisindeki mürekkep kalıntıları ve dolgu maddesinin uzaklaştırılması sayesinde temizlenen hamurdan elde edilen kâğıtların fiziksel niteliklerinde olumlu yönde gelişmeler görülmüştür. Yapılan bu çalışma genel anlamda değerlendirildiğinde; flotasyon süresinin kritik noktaya kadar (bu çalışmada 9 dakika) artırılması elde edilecek hamurun fiziksel ve optik niteliklerine olumlu katkılar sağlamaktadır. Ampirik olarak bulunan bu kritik noktadan sonra artan hamur kayıpları, harcanan zaman ve enerjiye rağmen hamur kalitesinde ciddi manada herhangi bir gelişme sağlanamamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Flotasyon, mürekkebi giderilmiş hamur, Formamidin sülfirik asit, ofis kâğıdı, hamur kaybı.

## Effect of Flotation Time on the Deinking Process and Properties of Deinked Pulp

### *Article Info:*

*Research article*

*Corresponding author: Sami İMAMOĞLU, e-mail: [imamoglusami@artvin.edu.tr](mailto:imamoglusami@artvin.edu.tr)*

---

### ABSTRACT

This paper discusses the influence of flotation time on the ink removal and physical properties of resulting deinked pulp. Flotation deinking of high quality office paper, printed in a digital duplicating machine based on screen-printing system, was studied using a laboratory cell with a nominal capacity of 10 L. Formamidine sulfonic acid was used in a pulper and pulping conditions such as temperature, retention time, chemical dosage and consistency were held constant prior to flotation process. During the flotation process while pulp consistency, agitation speed, air flow rate and other conditions keeping constant, only flotation time were analyzed in terms of physical properties of resulting pulp quality, pulp yield, filler and fibre balance and waste water quality aspects at 0, 3, 6, 9, 12 and 15 minutes. Increased flotation time substantially affected optical properties of pulp up to some point then became steady. Yield losses increased as might be expected with increasing flotation time by the 9th minute as flotation sludge skimmed off on top of the flotation cell. Filler content of flotation sludge increased with increasing flotation time while fibre content was decreasing to a certain extent. Thanks to removal of ink and filler

materials from pulp physical properties of evaluated handsheets enhanced. The overall results demonstrate that increasing flotation time increased physical and optical properties of resulting pulp. On the other hand flotation time should be increased up to critical point. Exceeding critical point increased yield losses, consumed time and energy without gaining significant pulp qualities.

**Keywords:** Flotation, deinked pulp properties, formamidine sulfinic acid, office paper, yield loss.

## GİRİŞ

Atık kağıtlardan mürekkep uzaklaştırma işleminin öncelikli amacı geri dönüşüm prosesi sırasında oluşan lif süspansiyonundan, yaklaşık olarak kağıt içerisinde %0.5-2 oranında bulunan baskı mürekkeplerinin uzaklaştırılmasıdır (Biermann, 1996). Mürekkep uzaklaştırma işleminin ikincil amacı ise lif dışındaki dolgu maddeleri, yapıştırıcılar, ıslak sağlamlık maddeleri ve buna benzer kirletici safsızlıkların ortamdaki uzaklaştırılmasıdır. Crow ve Secor (1987) mürekkep uzaklaştırma işlemini; hamurlaştırma, ön yıkama, kimyasal işlem, eleme, temizleme, yıkama, flotasyon işlemi, dispersion, ağartma ve su sirkülasyonu olarak on ana basamakta sıralamıştır. Atık kağıt geri dönüştüren fabrikalarda bu basamakların bir kısmı veya tümü yer alabilmektedir. Bununla birlikte mürekkep giderme işlemi, temel olarak flotasyon ve yıkama metodu ile gerçekleştirilmektedir. Flotasyon işlemi, yüksek verimliliği, proses suyunu daha az oranda kirletmesi gibi sebeplerden dolayı daha çok tercih edilmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışmaya da konu olan flotasyon işlemi, hava kabarcıklarına hidrofobik özellikteki mürekkep parçacıklarının tutundurulması ve bu hava kabarcıklarının süspansiyon yüzeyinde oluşturulan köpüklü yüzeye taşınarak ortamdaki uzaklaştırılması olarak tarif edilmektedir. Flotasyon işlemi ilk olarak maden endüstrisinde kullanılmaya

başlamış ve Frank Elmor tarafından keşfedilmiştir (Jenkins, 2001). Daha sonraları birçok cevherin saflaştırılmasında kullanılmış ve en son olarak kağıt endüstrisinde mürekkep uzaklaştırma sistemlerine uyarlanmıştır (Sixta, 2006).

Flotasyon işlemi çok basit bir faz ayırma işlemi gibi gözükse de aslında birçok faktörden etkilenen karmaşık ve olasılığa dayalı bir prosestir. Bu faktörler, mürekkep parçacık miktarı, boyutu, şekli, yoğunluğu, yüzey kimyası ve kümelenmesi, hava kabarcık tipi, sayısı, boyutu, yüzey kimyası ve yapısı, karıştırma şekli, şiddeti, süresi ve en önemlisi proses şartlarıdır. Flotasyon işlemi etkileyen proses şartlarını, atık kağıt türü, mürekkep miktarı ve türü, inorganik madde miktarı, lif karakteristiği, konsantrasyon, sıcaklık, işlem süresi, Flotasyon hücresinin dizaynı, ortam pH'ı ve kimyasal ortam olarak sıralayabiliriz (McCool, 1993).

Proses şartlarından flotasyon süresinin artırılması ile ortamdaki uzaklaştırılan mürekkep miktarı da artacağı için daha temiz hamurlar elde edilebilmektedir. Bunun yanında uzaklaştırılan çamur süspansiyonu yalnız mürekkep parçacıklarından oluşmamaktadır ve uzaklaştırılan çamur süspansiyonu ile bir miktarda lif kaybı oluşmaktadır. Bu yüzden artan süre ile birlikte hamur verimi düşmekte, işletme maliyetleri artmaktadır. Oysa işlem süresi mürekkep uzaklaştırma işleminde optimum bir değere kadar

etkilidir, bu süre aşıldığında yapılan işlem sadece lif kaybına neden olmaktadır.

Carrasco ve çalışma arkadaşları (1999) yaptıkları bir çalışmada yüksek kalitede kuşelenmiş kağıtlardan flotasyon ile mürekkep uzaklaştırma koşullarından hamur konsantrasyonu, hava debisi, karıştırma hızı ve işlem süresi gibi parametreleri incelemişler ve en uygun hamur konsantrasyonunun %1.25, hava debisinin 1000 L/h ve karıştırma hızının 1450 rpm olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte en fazla 12 dakikalık işlem süresine kadar çalıştıkları için mürekkep uzaklaştırılabilme faktörünün işlem süresinin artışına bağlı olarak geliştiğini tespit etmişlerdir. Mahagaonkar ve çalışma arkadaşları (1998) kuşeli magazin kağıtlarının, atık gazete kağıtlarının hamurlaştırılması ve flotasyon ile mürekkep uzaklaştırma işlemi üzerene etkilerini inceledikleri çalışmada işlem süresinin 10 dakikaya kadar etkili olduğunu daha sonraki evrelerde işlem süresinin artırılmasının flotasyon işleminde önemli bir etkisinin olmadığını belirlemişlerdir.

Zhu ve Tan (2005) yaptıkları çalışmada köpüğün toplanması için gereken sürenin, düşük hava akışı uygulanan flotasyon işlemlerinde yüksek hava akışı uygulanan işlemlere göre daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun anlamı düşük hava akımı kullanıldığında sürenin dolayısı ile drenajında artmasıdır. Köpük drenajı yerçekimi ve kılcal kuvvetler vasıtası ile hava kabarcıkları arasındaki kanallar ve kavşaklar arasından sıvının akışı olarak tanımlanmaktadır ve sürenin artışı ile drenaj artmaktadır. (Hilgenfeldt vd., 2001). Flotasyonda, liflerin drenajı yapılarından dolayı sıvılara göre daha az oranda gerçekleşmektedir. Bu çalışmadan toplam sürenin yanı sıra yüzdürme işlemi

sırasında köpüğün oluşma ve ortamdan temizlenme süresinin de oldukça etkili bir faktör olduğu anlaşılmaktadır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada flotasyon esasına dayalı mürekkep giderme sisteminde, uygulanan flotasyon süresinin ofis kağıtlarından mürekkep uzaklaştırma işlemine ve elde edilen hamurların fiziksel nitelikleri üzerine etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

## **MALZEME ve YÖNTEM**

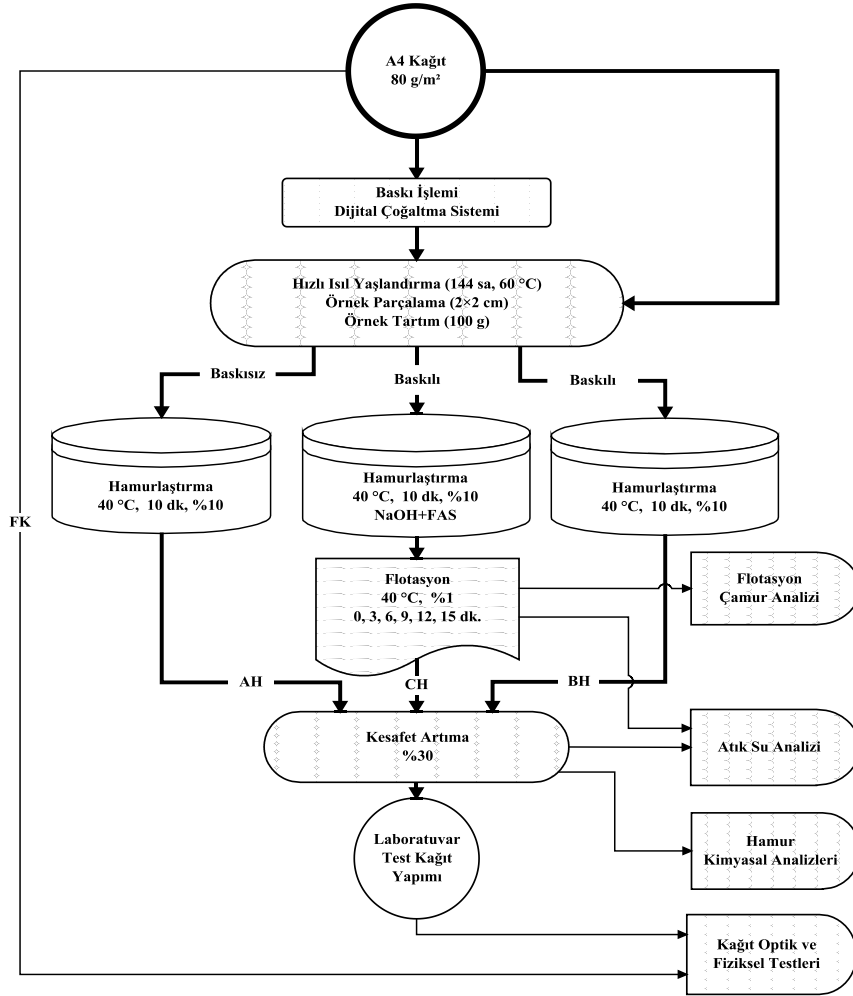
Laboratuar çalışmasına ait iş akış şeması ile hamurlaştırma ve flotasyon proseslerine ait çalışma şartları Şekil 1 ve Tablo 1 de detaylı olarak verilmiştir.

### **Baz Kâğıt ve Baskı İşlemi**

Baz kağıtlar Alkim kâğıt fabrikasından A4 boyutlarında üretim sonrasında 500'lü paketler halinde sağlanmıştır. Bu kağıtların lif kaynağının kimyasal (Kraft) yöntemle üretilmiş ve ağartılmış yapraklı (%80) ve iğne yapraklı (%20) ağaç odunlarından elde edilen kağıt hamuru karışımı olduğu belirtilmiştir. Baskı işlemi, Ricoh Priport VT-1750 model masa üstü dijital çoğaltma makinesinde gerçekleştirilmiştir. Baskı hızı dakikada 100 adet olacak şekilde ayarlanmış ve riso mürekkebi kullanılmıştır.

### **Isıl Yaşlandırma ve Örnek Hazırlama**

Baskılı ve baskısız A4 boyutlarındaki kağıtlara, PTS metoduna uygun olarak  $60 \pm 3$  °C ve  $144 \pm 2$  saat süre ile ısıtılma yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Isıl yaşlandırma işlemleri tamamlanan kağıtlar 2x2 cm boyutlarında parçalanarak tam kuru ağırlığı 100 gram olacak şekilde hamurlaştırma işlemine kadar  $< 4$  °C şartlarında muhafaza edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada uygulanan laboratuvar iş akış şeması

Tablo 1. Hamurlaştırma ve flotasyon proses şartları

Proses Kodları	Hamurlaştırma İşlemi					Flotasyon İşlemi				
	Kağıt	NaOH / FAS	Sıcaklık	Kesafet	Süre	Hamur	Sabun	Sıcaklık	Kesafet	Süre
	(g)	(mg)	(°C)	(%)	(dak.)	(g)	(g)	(°C)	(%)	(dak.)
AH	100	-	40	10	10	-	-	-	-	-
BH										
CH1										3
CH2										6
CH3	100	250/500	40	10	10	100	1	40	1	9
CH4										12
CH5										15

FK-MD: Fotokopi kağıdı-makine doğrultu, FK-ED: Fotokopi kağıdı-enine doğrultu, AH: Baskısız fotokopi kağıtlarının hamurlaştırılması, BH: Baskılı fotokopi kağıtlarının hamurlaştırılması, CH: Baskılı fotokopi kağıtlarının hamurlaştırılması ve mürekkeplerinin giderilmesi.

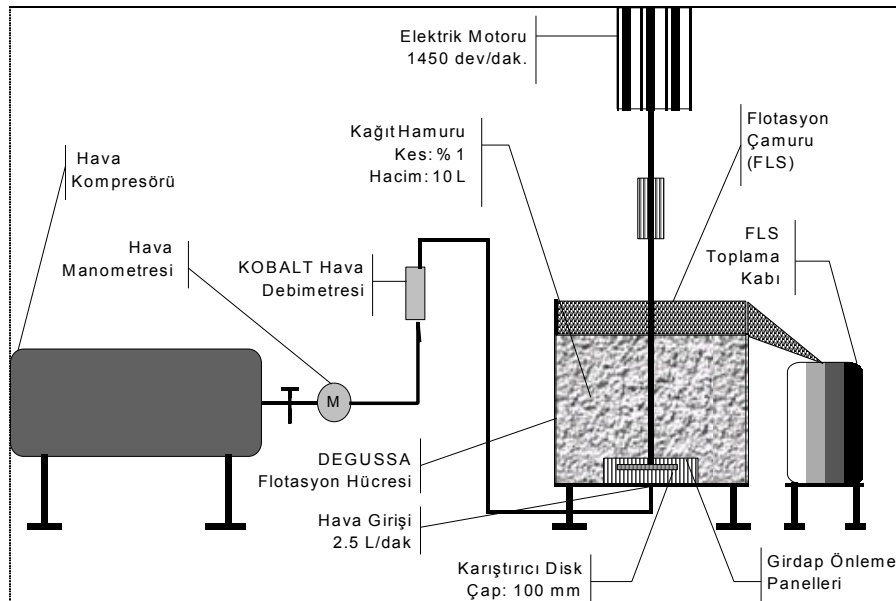
## Hamurlaştırma

Hamurlaştırma işlemi 2 litre kapasiteli Hobart tipi pulper içerisinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan proses suyuna ait toplam çözünmüş katı madde miktarı 200 mg/L, iletkenliği 205  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sertliği 4.97 °dH Alman sertliği ve pH değeri: 6.89 olarak ölçülmüştür. İşlem 40 °C sıcaklık, %10 kesafette ve 10 dakika sürede gerçekleştirilmiştir. Redüktif etkiye sahip Dega-FAS-AS kodlu kimyasal madde Avusturya-Degussa kimyasal madde şirketinden sağlanmıştır. FAS miktarı tam kuru kağıt ağırlığının %0.5'i olacak şekilde ayarlanmış ve NaOH/FAS oranı  $\frac{1}{2}$  olarak belirlenmiştir. Hamurlaştırmanın son aşamasında, Ankara-Meteksan Kağıt Fabrikasından sağlanan endüstriyel sabun (Olinor-RS 4200) tam kuru kağıt ağırlığının % 1'i kadar hamura katılmıştır.

Hamurlaştırmanın başlangıç ve sonucunda pH ölçümleri yapılmıştır.

## Flotasyon İşlemi ve Kesafet Artırma

Mürekkep giderme işlemi 10 litre kapasiteli Degussa flotasyon hücresinde (Şekil 2) gerçekleştirilmiştir. Hamurlaştırma işlemi sonrasında tamamen bireysel lifler haline gelen atık kağıt hamuru flotasyon hücresi içerisine boşaltılmıştır. Ardından toplam hacim 10 L, kesafet %1, sıcaklık 40°C ve su sertliği 10°dH olacak şekilde sistem hazırlanmıştır. Flotasyon işlemi 3, 6, 9, 12 ve 15 dakikalık sürelerde 1450 dev/dak. karıştırma hızında ve 2.5 L/dak. hava girişi olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Yüzeydeki köpüklü kısım her 20 saniyede bir sıyılmıştır. Kesafet artırma işlemi 10 litre kapasiteli ve 200 meshlik (0.075 mm açıklık) iç hazne eleğine sahip Degussa hücresinde %30 olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan flotasyon ünitesine ait sistem

### Fiziksel Testler

Kağıt hamurlarının serbestlik tayinleri ISO 5267-1 metoduna göre Schopper-Riegler aleti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Standart laboratuvar test kağıtları yarı otomatik Rapid Köthen cihazında ISO standardına uygun olarak yapılmıştır. Laboratuvar test kağıtları ve baz kağıtlar Tappi 402-om-88 standardına göre sıcaklığı  $23 \pm 1$  °C ve bağıl nemi  $50 \pm 2$  olarak ayarlanmış ortamda muhafaza edilmiştir.

Rutubet tayinleri Tappi 412, gramajları ise ISO/DIS 536 standardına uygun olarak 1 m<sup>2</sup> deki tam kuru madde miktarı olarak verilmiştir. Ayrıca kağıtların kalınlıkları Tappi T411 om-89 metoduna uygun olarak belirlenirken hacimlilik ve yoğunlukları da hesaplama yoluyla bulunmuştur. Patlama testi Tappi 403 om-91, kopma testi Tappi 404-om-87 ve yırtılma testi Tappi 414 om-88 standardına uygun olarak yapılmıştır.

### Optik Testler

Optik nitelikleri belirlemek için INGEDE metoduna uyularak test kağıtları hazırlanmıştır. Optik testlerde, Elrepho-3300 model Xenon flaş lambalı spektroskop ve Color Tools QC bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Laboratuvar safihalarında alt ve üst arasındaki farkı görebilmek için ölçümler her iki tarafta da yapılmıştır.

Parlaklık ölçümü ISO/DIS 2470 standardına uygun olarak C/2° ilüminasyonu ve difüz metot kullanılarak yapılmıştır. Parlaklık ölçümleri, 420 nm dalga boyunda UV filtresi kullanılarak (UV-exc) ve filtre kullanmadan (UV-inc) gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde flüoresan etkiye sahip maddelerin parlaklığı ne

derecede etkilediği de gözlemlenmiştir (McKinney,1990).

Beyazlık ölçümü ISO/DIS 11476 standardına göre yapılmıştır. Beyazlık ölçümünde farklı metotlar kullanılmasına rağmen bu çalışmada CIE beyazlığı değerleri tespit edilmiştir.

Renk ölçümleri ISO/CD 5631 standardına uygun olarak difüz reflektans metodu ile yapılarak L\*, a\* ve b\* CIELAB koordinatları hesaplanmıştır. İki örnek arasındaki renk farkı ( $\Delta E$ ) ise aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1).$$

$\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  değerleri BH kodlu kağıt hamurundan elde edilen taslaklar ve ağartılmış hamurlardan elde edilen taslaklara ait L\*, a\*, ve b\* değerlerinin farklarıdır. Test kağıtlarına ait opaklık ve ışık geçirgenliği ölçümleri ISO/DIS 2471 difüz reflektans metoduna uygun olarak yapılmıştır. ISO/DIS 9616 standardına uygun olarak ve Kubelka-Munk teorisi kullanılarak k (kağıdın ışığı absorblama katsayısı) ve s (kağıdın ışığı dağıtma katsayısı) değerleri ölçülmüştür.

### Diğer Analizler

Flotasyon hücresinin üst kısmında biriken lif, dolgu maddesi, mürekkep ve kirlilik karışımı yani flotasyon çamur (FLÇ) miktarı süzülüp kurutulmak sureti ile belirlenmiştir. Flotasyon aşamasından sonra elde edilen hamurdaki anorganik madde miktarını ve uzaklaşan madde miktarını belirlemek amacıyla Tappi 211 om-85 metodu uygulanmıştır.

Kesafet artırma işlemlerinden sonra biriktirilen 10 litrelik işlem atık sularının kimyasal oksijen isteği (KOİ) analizleri yapılmıştır. Kesafet artırma işleminden

sonra biriktirilmiş atık su içerisinde bulunan askıda madde miktarı tayini ve çözünen ve atık su içerisine karışan çözünmüş katı maddenin (ÇKM) tayini Tappi-656 metoduna göre yapılmıştır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Fiziksel Direnç Özellikleri

Fotokopi kağıdı (FK) ve proseslere ait kağıt hamurlarının temel ve fiziksel direnç niteliklerini belirlemek için ISO standardına uygun olarak standart test kağıtları yapılmıştır. Hiçbir dövme işlemi uygulanmadan yapılan test kağıtlarının kopma, yırtılma ve patlama testi gibi

fiziksel dirençleri indis olarak hesaplanmış ayrıca bu kağıtların temel özelliklerinden olan dövülme derecesi, kalınlık, gramaj ve yoğunluk gibi değerleri tespit edilmiştir.

Tablo 2’de verilen SR° değerleri incelendiğinde proseslere ait kağıt hamurları arasında ciddi farkların olmadığı görülmektedir. Baskılı ve sadece hamurlaştırma yapılan (BH) proseste bu değer ortalama 24.40 bulunurken flotasyon süresindeki artışa bağlı olarak SR° değerinde 18.00’a kadar gerileme kaydedilmiştir. Bu düşüş daha fazla kırıntı lifin ve dolgu maddesinin hamur içerisinde uzaklaştırılması ile açıklanabilir.

**Tablo 2.** Kağıtlara ait bazı temel ve fiziksel direnç değerleri

Proses No	Patlama İndisi	Yırtılma İndisi	Kopma İndisi	Uzama	Dövme Derecesi	Gramaj	Kalınlık	Yoğunluk
	(kPa.m <sup>2</sup> /g)	(mN.m <sup>2</sup> /g)	(N.m/g)	(%)	(SR°)	(g/m <sup>2</sup> )	(μm)	(g/cm <sup>3</sup> )
FK-MD	2.85	8.93	59.40	2.21	-	78.50	106.86	0.735
FK-ED	2.85	8.21	34.03	4.95	-	78.50	106.86	0.735
AH	1.02	6.07	21.25	1.56	23.80	63.33	132.80	0.477
BH	1.03	6.04	22.02	1.57	24.40	62.51	129.10	0.484
CH1	1.04	5.59	24.47	1.56	22.80	66.21	135.90	0.487
CH2	1.28	6.02	25.53	1.78	20.10	69.02	141.70	0.487
CH3	1.33	6.23	26.68	1.76	18.50	69.82	143.34	0.487
CH4	1.45	6.45	27.23	1.75	18.40	70.09	143.35	0.489
CH5	1.53	6.53	28.05	1.65	18.00	69.33	144.40	0.480

Kağıt direnç niteliğinin belirlenmesinde en kullanışlı ve yaygın metotlardan olan kopma, patlama ve yırtılma direnci test sonuçları kopma, patlama ve yırtılma indisleri şeklinde Tablo ’de toplu olarak verilmiştir. Baz kağıt olarak kullanılan fotokopi kağıtlarına makine ve enine doğrultuda, standart test kağıtlarına ise lif doğrultu farkı olmadığı için çekme işlemi herhangi bir yönde uygulanmıştır. FK’ya ait kağıt doğrultuları arasındaki kopma indisleri farkı tamamen lif yönlenmesi ile ilgilidir. Diğer yandan kopma ve yırtılma indislerini

doğrudan etkileyen diğer faktörler liflerin bireysel mukavemetleri ve lifler arasındaki bağlanmalardır.

Flotasyon süresinin kopma, yırtılma ve patlama indislerini olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Bu artışın kaynağı, sürenin artmasına bağlı olarak daha fazla dolgu maddesinin hamurdan uzaklaşarak flotasyon çamuruna karışması sonucu kağıt hamurunda kalan oransal olarak daha az anorganik madde ile izah edilebilir.

### Optik Özellikleri

Kağıdın optik nitelikleri, kullanım yerine bağlı olarak çoğu zaman diğer fiziksel özelliklerinden daha önemli bir konuma gelebilmektedir. Birçok kullanım yerinde büyük önem taşıyan kağıdın görünümü, doğrudan kağıdın sahip olduğu optik niteliklerine bağlıdır. Özellikle atık kağıtlara uygulanan mürekkep giderme ve ağartma işlemleri, üretilecek kağıdın görünümünü daha iyi bir duruma getirmek içindir. Kağıdın en önemli optik

özellikleri, parlaklık, beyazlık, renk koordinatları, opaklık ve ışık geçirgenliğidir.

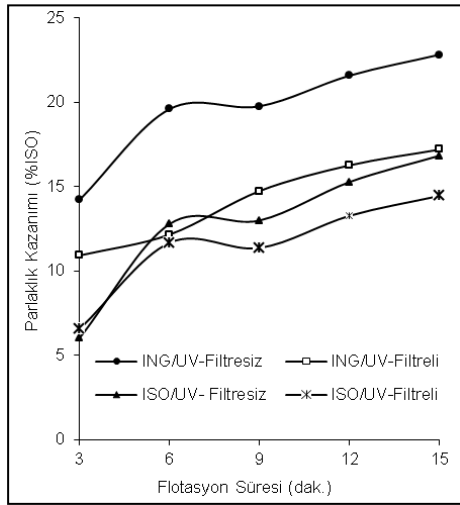
### Parlaklık değerleri

Parlaklık ölçümleri, 240 g/m<sup>2</sup> gramajlı standart INGEDE test kağıdı ve 70 g/m<sup>2</sup> gramajlı standart ISO test kağıdında yapılmıştır. Tablo 3'te kağıtlara ait alt ve üst parlaklık değerleri, Şekil 3a'da ise parlaklık kazanımları (delta parlaklık) grafik ortamında verilmiştir.

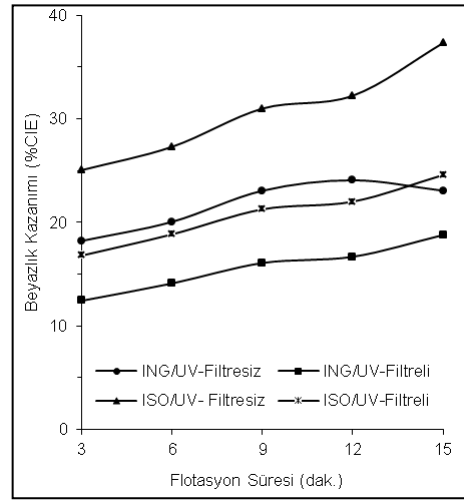
**Tablo 3.** ISO parlaklık değerleri

Proses No	Standart INGEDE Kağıdı 240 g/m <sup>2</sup>				Standart ISO Kağıdı 70 g/m <sup>2</sup>			
	UV-Filtresiz		UV-Filtreli		UV-Filtresiz		UV-Filtreli	
	Üst-Alt	Ort.	Üst-Alt	Ort.	Üst-Alt	Ort.	Üst-Alt	Ort.
FK	-	-	-	-	-	106.28	-	86.45
AH	94.77	94.48	79.90	79.77	103.15	102.81	84.37	84.40
	94.19		79.63		102.47		84.43	
BH	54.08	52.97	46.98	46.10	80.21	78.31	66.23	65.01
	51.86		45.22		76.41		63.79	
CH1	68.30	67.19	57.77	57.01	84.80	84.35	71.73	71.57
	66.08		56.25		83.89		71.41	
CH2	74.04	72.57	62.11	61.08	91.94	91.10	77.12	76.68
	71.10		60.06		90.26		76.24	
CH3	74.01	72.73	61.79	60.83	91.90	91.30	76.73	76.37
	71.44		59.87		90.70		76.01	
CH4	75.86	74.55	63.34	62.35	94.20	93.58	78.64	78.28
	73.23		61.37		92.97		77.91	
CH5	77.26	75.79	64.31	63.29	95.93	95.14	79.85	79.46
	74.33		62.28		94.36		79.06	





(a)



(b)

Şekil 3. a) Flotasyon süresi ve parlaklık kazanımı b) Flotasyon süresi ve beyazlık kazanımı

AH ve BH proseslerine ait test kağıtlarının parlaklık değerleri, baz kağıdın parlaklığını görmek ve baskı işleminin ne ölçüde aynı hamurda parlaklık azalmasına sebep olduğunu gözlemlemek için Tablo 3'de verilmiştir. Baz kağıt olarak kullanılan fotokopi kağıdının parlaklık değerleri UV filtresiz ölçüme ait % 106.28 ve UV filtreli ölçüme ait % 86.45 ISO parlaklığı olarak belirtilmişti. AH prosesi, bilindiği üzere bu fotokopi kağıtlarının yalnızca su ile hamurlaştırılmasından oluşmaktadır. Doğal olarak bu prosese ait ölçülen parlaklık değerlerinin fotokopi kağıdınıninkine yakın olması beklenir. Fakat değerler karşılaştırıldığında aralarında ciddi farklılıklar olduğu görülmektedir. Örneğin UV-filtresiz parlaklık ölçümleri incelendiğinde INGEDE test kağıdında 11.80 birim azalma görülürken ISO test kağıdındaki azalma 3.47 birim ile sınırlı kalmıştır. Diğer yandan, UV filtre kullanılan ölçümler karşılaştırıldığında, parlaklık azalımı INGEDE test kağıdında 6.68 birim iken ISO test kağıdında 2.05 birim olarak görülmektedir. Bu sonuçlar baz kağıdın flüoresans etkiye sahip optik parlaticı kimyasal madde içermesinden

kaynaklanmaktadır. Bu optik parlaticıların flotasyon süresine bağlı olarak sistemden uzaklaştığı görülmektedir. Diğer yandan ISO kağıdına kıyasla INGEDE kağıdının gramajının daha düşük olması etkindir.

Diğer yandan AH ve BH proseslerine ait test kağıtlarının parlaklık değerleri incelendiğinde baskı mürekkebinin parlaklık değerini ne derecede düşürdüğünü görmek mümkündür. Örneğin UV filtresiz ortamda yapılan ölçümlerde, bu iki prosese ait parlaklık farkları INGEDE test kağıdında 41.51 birim iken ISO test kağıdında 24.50 birim civarındadır. UV filtreli ölçümlerde ise parlaklık farkları sırasıyla 33.67 ve 19.40 birimdir. Bu sonuçlar incelendiğinde, AH ve BH proseslerine ait test kağıtları arasındaki parlaklık farkı, UV filtresiz ortamda yapılan ölçümlerde daha yüksek olduğu görülürken, diğer yandan INGEDE test kağıtlarında da ISO test kağıtlarına kıyasla daha yüksek farkların olduğu görülmektedir.

Diğer bir önemli konu ise test kağıtlarının üst ve alt yüzeyinden ölçülen parlaklık

değerlerinin farklılık göstermesidir. Örneğin AH prosesine ait INGEDE test kağıdının üst ve alt yüzeyleri arasındaki fark % 0.51 iken BH prosesine ait test kağıdının üst-alt parlaklık farkı % 4.10 dur. AH prosesine ait hamurda kirlilik verici maddelerin olmaması sebebiyle test kağıdının formasyonu sırasında iki yüzey arasında ciddi farklılıklar oluşmamıştır. BH prosesine ait kağıt hamurunda ise baskı mürekkebinden gelen yüksek miktardaki dispers olmuş mürekkep pigmentler kağıt formasyonu sırasında su ile beraber alt yüzeye taşınarak yüzeyler arasındaki farkı oluşturmaktadır.

Şekil 3a'da grafik ortamında flotasyon süresine bağlı olarak parlaklık kazanımları verilmiştir. Parlaklık kazanımı veya delta parlaklık olarak verilen değerler proseslere ait test kağıtlarının parlaklık değerlerinden BH prosesine ait test kağıdının parlaklık değerinin çıkarılması ile sağlanmıştır.

$$\text{ISO Par. Kaz.(\%)} = [\text{CH \%Par.}] - [\text{BH\% Par.}] \quad (2)$$

Parlaklık değerleri incelendiğinde test kağıdının türüne ve UV filtre pozisyonuna göre farklı miktarda parlaklık kazanımları kaydedilmiştir. Parlaklık artımları flotasyon süresi artışına paralel olarak artma göstermiştir. Bununla birlikte INGEDE test kağıdında UV filtresiz ile filtreli ölçümler arasında ortalama 5 parlaklık birimi fark olacak şekilde geniş bir bant olarak parlaklık artımı seyrederken, ISO test kağıdında bu bant genişliği ortalama yaklaşık 2 parlaklık birimi kadardır. Bu durum, pulper içerisinde yapılan diğer proseslerde de hemen hemen benzer şekildedir. Bu durum ISO test kağıtlarında formasyon aşamasında diğer test kağıdına kıyasla daha seyreltik hamur süspansiyonu veya daha fazla su kullanılması ve gramaj farklılıklarından ileri geldiği düşünülmektedir.

Flotasyon süresinin artışına paralel olarak parlaklık değerlerinin tüm değişkenlerde de yükseldiği görülmektedir. Gerçek ISO parlaklığı incelendiğinde süreye bağlı olarak parlaklık kazanımı ilk 10 dakikaya kadar hızlı bir artış trendinde olduğu, takip eden sürelerde ise bu trendin düştüğü görülmektedir. Flotasyon süresinin ilk aşamalarında yüksek miktarda madde hamurdan uzaklaşırken süre uzadıkça uzaklaşan madde miktarında azalma olduğu daha önce belirtilmişti. Buradan yola çıkarak, ilk aşamalarda büyük oranda mürekkep pigmentleri flotasyon çamuruna karışırken ilerleyen dakikalarda bu oranın azaldığı söylenebilir. Sonuç olarak flotasyon süresinin belli kritik noktadan sonra uzatılması fazla bir parlaklık kazanımı sağlamazken hem fazladan madde kaybına sebep olacak hem de üretim masraflarını artıracaktır.

### ***Beyazlık değerleri***

Tablo 4'te UV filtreli ve filtresiz ortamda ölçülen INGEDE ve ISO test kağıtlarına ait beyazlık ölçüm değerleri verilmiştir. Şekil 3b de ise delta beyazlık veya beyazlık kazanımları grafik ortamında verilmiştir.

Baz kağıt olarak kullanılan fotokopi kağıdının beyazlık değerleri UV filtresiz ortamda % 154.15 ve UV filtreli ortamda % 99.65 CIE beyazlığı olduğu hatırlanırsa, bu değerlere bakılarak fotokopi kağıdı içerisinde kesinlikle optik beyazlatıcının olduğu bellidir. Diğer yandan bu fotokopi kağıdının baskı işlemi yapılmadan hamurlaştırılmasıyla elde edilen AH hamuruna ait UV filtresiz ortamda ölçülen ISO test kağıdının beyazlık değeri ise % 150.79 CIE beyazlığı olduğu görülmektedir.

Diğer yandan en fazla beyazlık kazanımının UV filtresiz ortamda ölçülen ISO test kağıdı, ardından INGEDE test

kağıdı, üçüncü sırada UV filtreli ortamda ölçülen ISO test kağıdı ve son olarak INGEDE test kağıdı gelmektedir. Parlaklık kazanımında ise hatırlanacağı üzere en fazla artım UV filtresiz ortamda ölçülen INGEDE kağıdında

gerçekleşmişti. Diğer yandan aynı tür test kağıtlarının UV filtreli ve filtresiz ortamdaki hesaplanan delta beyazlık değerleri geniş bir bant şeklinde değişime uğramıştır.

**Tablo 4.** CIE beyazlık değerleri

Proses No	Standart INGEDE Kağıdı 240 g/m <sup>2</sup>				Standart ISO Kağıdı 70 g/m <sup>2</sup>			
	UV-Filtresiz		UV-Filtreli		UV-Filtresiz		UV-Filtreli	
	Üst-Alt	Ort.	Üst-Alt	Ort.	Üst-Alt	Ort.	Üst-Alt	Ort.
FK	-	-	-	-	-	154.15	-	99.65
AH	127.03	126.20	84.30	83.74	149.90	150.79	98.47	98.56
	125.37		83.19		151.69		98.65.65	
BH	84.18	82.41	48.16	46.87	99.33	98.45	56.83	55.99
	80.64		45.58		97.57		55.15	
CH1	102.43	100.63	60.40	59.31	124.18	123.51	73.22	72.79
	98.83		58.22		122.84		72.36	
CH2	104.54	102.47	62.31	60.98	126.74	125.76	75.54	74.84
	100.39		59.64		124.78		74.13	
CH3	107.17	105.47	64.23	62.95	129.92	129.45	77.87	77.26
	103.77		61.66		128.98		76.64	
CH4	108.20	106.48	64.85	63.55	131.17	130.70	78.62	78.00
	104.76		62.25		130.22		77.38	
CH5	112.77	105.47	67.03	65.65	136.71	135.79	81.25	80.57
	108.50		64.28		134.87		79.89	

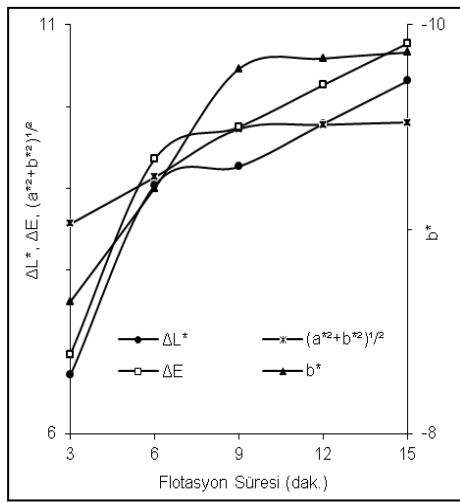
UV filtreli ortamda ölçümü yapılan INGEDE test kağıtlarına ait beyazlık kazanımları incelendiğinde; flotasyon süresi arttıkça delta beyazlık değerleri artma eğilimi görülmüştür Bunun sebebi süreye bağlı olarak daha fazla mürekkebin uzaklaştırılmasıdır. İlk 3 dakikalık flotasyon süresinde delta beyazlık % 12.44 birimken, 15 dakika flotasyon süresi sonunda delta parlaklık % 18.78 birime ulaşmıştır.

### Renk değerleri

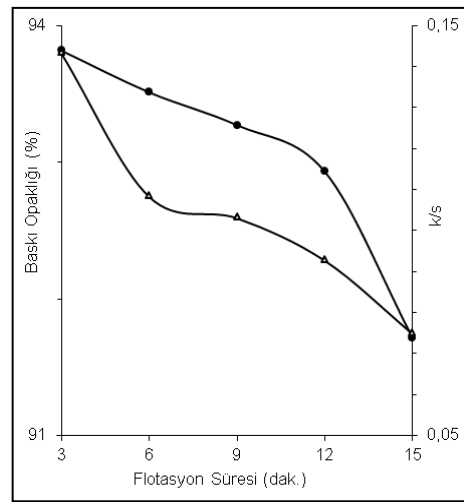
Tablo 5'te proseslere ait L\*, a\*, b\* değerlerinin yanında ayrıca proseslere ait test kağıtları ile başlangıç hamuruna ait test kağıtları arasındaki renk farkını tespit etmek amacıyla ISO 5631 standardında önerilen  $\Delta E^*$  ve  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  formülüne ait değerler verilmiştir. Bilindiği üzere kağıdın beyaz veya beyaza yakın olabilmesi için,  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  değeri kesinlikle 10'u aşmamalı ve L\* 84'ten daha yukarıda olmalıdır.

**Tablo 5.** Renk değerleri

Proses No	Standart INGEDE Kağıdı 240 g/m <sup>2</sup>							
	L*		a*		b*		$(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$	Delta E
	Üst-Alt	Ort.	Üst-Alt	Ort.	Üst-Alt	Ort.	Ort.	Ort.
FK	-	93.99	-	3.01	-	-15.02	-	-
AH	92.36	92.34	2.71	2.68	-9.90	-9.73	10.09	18.18
BH	75.03	74.48	2.30	2.26	-6.54	-6.33	6.72	0.00
CH1	81.63	81.20	2.70	2.65	-8.39	-8.15	8.57	6.97
CH2	84.07	83.52	2.84	2.79	-8.98	-8.70	9.14	9.36
CH3	84.25	83.75	2.94	2.91	-9.50	-9.29	9.73	9.75
CH4	84.75	84.28	2.95	2.91	-9.55	-9.34	9.78	10.27
CH5	85.32	84.80	2.96	2.92	-9.58	-9.37	9.81	10.77
	84.28		2.87		-9.15			



(a)



(b)

**Şekil 4.** a)  $\Delta L^*$ ,  $\Delta E$ ,  $(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$  ve  $b^*$  değerleri b) Baskı opaklığı ve k-s değerleri

Şekil 4a'da  $\Delta L^*$ ,  $\Delta E^*$ ,  $b^*$ , ve  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  değerleri grafik ortamında verilmiştir. Baz kağıt olarak kullanılan fotokopi kağıdına ait  $L^*$  değerinin 93.99,  $a^*$  değerinin 3.01,  $b^*$  değerinin -15.02 ve  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  değerinin 15.31 olduğu hatırlanırsa bu kağıdın kırmızı ve büyük oranda mavi renkte olduğu söylenebilir. Mavi renk değerinin yüksek değerde bulunması, kağıdın parlaklığını artırmak için kağıda

katılan mavi renkli boyadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablodaki  $\Delta E^*$  değerleri BH hamurunun CIELAB değerleri baz alınarak hesaplanmıştır. Buna göre AH ve BH prosesleri arasındaki renk farkı 18.18 olarak tespit edilmiştir.  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  değeri ise AH prosesinde 10.09 ve BH prosesinde ise 6.72 olarak tespit edilmiştir.

Bilindiği gibi bu değerlerin sıfıra yaklaşması nötr bir renk demektir. Bu değerler fotokopi kağıdının değerleri ile kıyaslandığında, AH prosesine ait bu düşüş test kağıdı oluşturma sırasında uzaklaştırılan mavi boyalarla açıklanırken BH değerindeki bu fark ise yoğun siyah renkli mürekkebin ortamda bulunmasıyla açıklanabilir. Bu proseslere ait  $a^*$  değerlerine bakıldığında ise başlangıçtaki değerle proseslere ait değerler arasında ciddi farkın olmadığı görülmektedir.

$L^*$  ve  $\Delta E^*$  değerleri flotasyon süresine bağlı olarak artarken  $b^*$  ve  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  değerleri negatif bölgeye doğru yani mavi renk bölgesine ilerlemiştir. Bu durum, flotasyon süresinin artması ile daha fazla mürekkebin uzaklaşması ile kağıt hamurunda ağartmanın etkisi görülürken, aynı zamanda beyaz renkli dolgu maddelerinin yapıdan uzaklaşması ile kağıt hamurunun rengi mavi renk lehine gelişmiş olabilir.

#### *Opaklık, ışık geçirgenlik ve k-s değerleri*

Tablo 6'daki flotasyon işlemlerine ait baskı opaklığı ve geçirgenlik değerleri incelendiğinde, genel olarak opaklık değişiminin daha önce ölçülen parlaklık ve beyazlık değerlerinin değişimine kıyasla zıt yönde gerçekleştiği görülmektedir. Diğer yandan geçirgenlik değerlerinin de opaklık değişimine ters hareket ettiği gözlenmektedir. Baz kağıt olarak kullanılan fotokopi kağıdına ait opaklık değeri 91.80 iken AH prosesine ait test kağıdının opaklık değeri 87.40 ve BH prosesine ait test kağıtlarının opaklık değeri 95.78 olarak tespit edilmiştir. AH ve BH proseslerine ait test kağıtlarının opaklık değerleri arasındaki yaklaşık % 10 civarındaki fark BH prosesine ait test kağıdı içerisindeki yüksek miktardaki dispers olmuş mürekkep ile açıklanabilir. Flotasyon süresi arttıkça opaklık değerinin düştüğü, ışık geçirgenliğinin ise yükseldiği görülmektedir. Süreye bağlı olarak daha fazla mürekkebin hamurdan uzaklaştırılması ve daha beyaz bir yapının oluşması ile opaklığın azalması açıklanabilir.

**Tablo 6.** Baskı opaklığı, ışık geçirgenliği ve k-s değerleri

Proses No	Baskı Opaklığı (%)		Işık Geçirgenliği (%)		s (m <sup>2</sup> /kg)		k (m <sup>2</sup> /kg)		k/s
	Üst-Alt	Ort.	Üst-Alt	Ort.	Üst-Alt	Ort.	Üst-Alt	Ort.	
FK	-	87.53	-	17.02	-	-	-	-	-
AH	87.26	87.40	21.75	21.93	58.71	58.18	1.21	1.23	0.02
	87.54		22.10		57.65		1.24		
BH	95.63	95.78	16.12	15.64	19.13	19.09	5.25	5.55	0.29
	95.93		15.15		19.05		5.86		
CH1	93.85	93.82	19.43	19.11	34.39	30.31	3.97	4.34	0.14
	93.78		18.79		26.23		4.70		
CH2	93.46	93.51	19.09	18.86	35.85	34.62	3.38	3.74	0.11
	93.56		18.63		33.39		4.11		
CH3	93.23	93.27	17.97	17.82	35.56	34.68	3.13	3.57	0.10
	93.31		17.67		33.81		4.01		
CH4	92.85	92.93	18.26	17.91	38.25	35.25	2.88	3.27	0.09
	93.01		17.56		32.25		3.65		
CH5	91.72	91.72	19.07	18.98	47.05	41.95	2.79	3.14	0.07
	91.71		18.88		36.86		3.48		

Tablo 6’da flotasyon proseslerine ait k ve s değerleri incelenecek olursa, baskılı ve baskısız kağıtların hamurlaştırılmasından elde edilen kağıt hamurlarının k ve s değerleri arasında ciddi farkın olduğu görülecektir. AH prosesine ait test kağıdının k ve s değerleri sırasıyla 1.23 ve 58.18 m<sup>2</sup>/kg olarak hesaplanırken aynı katsayılar BH prosesine ait test kağıtlarında 5.55 ve 19.09 m<sup>2</sup>/kg olduğu tespit edilmiştir. Mürekkebin kağıt hamuru içerisine girmesiyle s değeri % 67 oranında azalırken k değeri 4.5 kat artış göstermiştir. Mürekkebin kağıt hamuru içerisinde miktar olarak artışına paralel olarak ışık absorpsiyon katsayısının arttığı yapılan bir çalışma ile tespit edilmiştir (Mahagaonkar vd., 1998). Aynı şekilde flotasyon süresi 3 dakikadan 15 dakikaya çıkarıldığında s değeri 30.11 den 41.95 m<sup>2</sup>/kg değerine

ulaşmış k değeri ise 4.34 ten 3.14 m<sup>2</sup>/kg değerine gerilemiştir. Her iki değişken için de referans AH ve BH değerleri ile kıyaslandığında flotasyon işleminin etkin şekilde gerçekleştirildiği söylenebilir.

### Diğer Analizler

AH, BH ve CH proseslerine ait pH ölçüm değerleri toplu olarak Tablo 7’de verilmiştir. Hamurlaştırma işleminde NaOH/FAS oranı literatüre uygun olarak ½ olarak belirlenmiştir. Flotasyon aşamalarında ölçülen pH değerleri pH-1 den pH-3’e doğru gittikçe düşüş eğilimi göstermektedir. Bu değerlerin ortalamaları sırasıyla 10.28, 9.25 ve 7.57 civarındadır. Bu son değerler, literatürde optimum ağartma şartları için önerilen başlangıç ve nihai pH değer aralığı içerisinde yer almaktadır.

**Tablo 7.** Proses aşamaları sırasında ölçülen pH değerleri ve madde bilançosu

Proses No	İşlemler Sırasında Ölçülen pH Değerleri			Madde Girdisi (g)	İşlemler Sonundaki Madde Dağılımı				Madde Bilançosu (%)
	pH-1	pH-2	pH-3		FL	AK	ÇK	Ham	
AH	7.45	7.42	7.65	100.00	0.00	1.27	1.32	96.49	99.08
BH	7.42	7.43	7.65	100.00	0.00	1.29	1.03	96.92	99.24
CH1	10.33	9.30	7.59	102.75	10.1	1.50	3.02	86.89	98.84
CH2	10.29	9.26	7.57	102.75	13.8	1.45	2.97	84.43	99.98
CH3	10.30	9.27	7.62	102.75	16.2	1.31	3.13	81.10	99.07
CH4	10.24	9.22	7.59	102.75	17.0	1.30	2.73	80.42	98.73
CH5	10.24	9.22	7.47	102.75	17.1	1.30	3.01	80.36	99.11

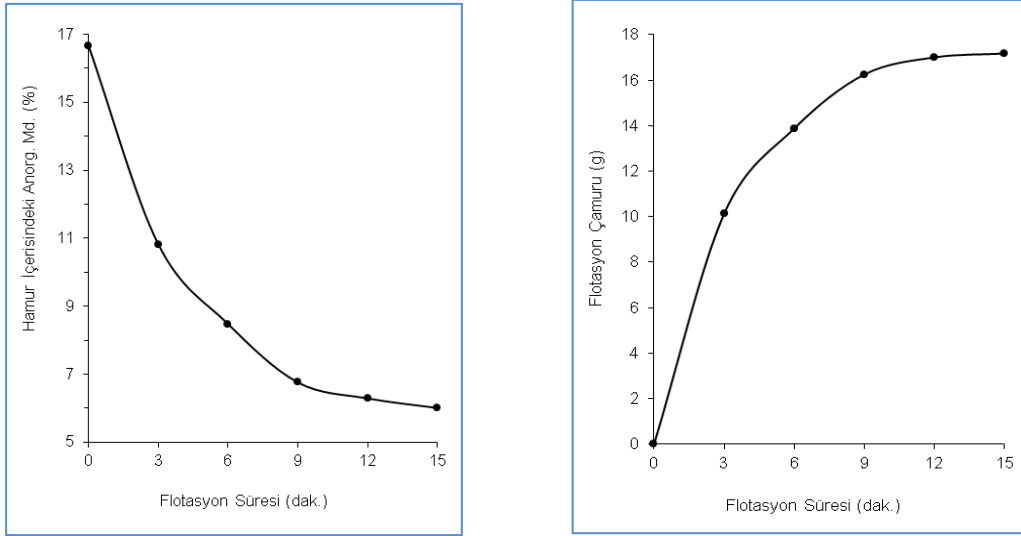
Tablodaki madde girdisi sütunu işlemler sırasında ilave edilen tüm katı maddeleri kapsamaktadır. İşlemler sırasındaki madde kayıpları veya nihai hamur verimi bu kağıt yapısını oluşturan maddelerin oranlarına ve kullanılan proses teknolojilerine bağlıdır. Diğer yandan sonuç olarak ne türde bir kağıt hamuru hedeflendiği doğal olarak verimi etkileyecektir. Baskılı ve baskısız kağıtların hamurlaştırılması ile elde edilen AH ve BH proseslerine ait kağıt hamur verimi % 96.70 civarında

tespit edilmiştir. Yaklaşık % 3.30 civarındaki madde kaybının büyük kısmını, hamurlaştırma işlemi ardından yapılan kesafet artırma sırasında atık suya karışan askıda ve çözünmüş maddeler oluştururken bir kısım da laboratuvar işlemleri sırasında geri kazanılamayarak kaybedilmiştir.

Flotasyon aşaması hamur verimi açısından en kritik aşamadır. Kullanılan atık kağıt türü ve anorganik madde içeriği, flotasyon ekipman dizaynı, proses kimyasal dengesi,

hamur kesafeti ve flotasyon süresi elde edilecek kağıt hamuru verimini etkilemektedir (Borchardt, 1993; Süss vd., 1994). Flotasyon süresinin artmasıyla uzaklaştırılan flotasyon çamur miktarı belli süreye kadar hızlı bir şekilde artarken 9 dakikadan sonra madde kaybındaki artış neredeyse sabit hale gelmiştir. Şekil 5'de flotasyon süresine bağlı olarak

uzaklaştırılan çamur miktarı ve hamur içerisinde kalan anorganik madde oranı verilmiştir. Bu iki grafik incelendiğinde, uzaklaştırılan flotasyon çamurunun hamur içerisindeki anorganik madde miktarı ile doğrudan ilgili olduğu ve bu miktarın belli seviyenin altına inmesi ile uzaklaştırılan çamur miktarının da düştüğü anlaşılmaktadır.



**Şekil 5.** Uzaklaştırılan flotasyon çamur miktarı ve hamur içerisindeki anorganik madde oranı

Tablo 8'de işlemlere ait atık su analizleri verilmiştir. Bu analizler, flotasyon işlemi ardından yapılan kesafet artırma

sonucunda ortaya çıkan 10 litrelik atık su üzerinde yapılmıştır.

**Tablo 8.** Proseslere ait atık suların kimyasal analiz değerleri

Proses No	Atık Su pH Değeri	Atık Sudaki Katı Madde Dağılımı (g/L)			KOİ Yüğü	
		AKM	ÇKM	Toplam	Atık su (mg/L)	Hamur (kg/ton)
AH	8.28	0.127	0.132	0.259	160	16.00
BH	8.15	0.129	0.103	0.232	161	16.10
CH1	7.52	0.150	0.302	0.452	235	23.50
CH2	7.48	0.145	0.297	0.442	229	22.88
CH3	7.36	0.131	0.313	0.444	218	21.80
CH4	7.35	0.130	0.273	0.403	217	21.70
CH5	7.29	0.130	0.301	0.430	217	21.70

Flotasyon işlemlerine ait atık su pH değerleri incelendiğinde ortalama değer 7.40 civarında bulunurken AH ve BH proseslerine ait atık suların pH değerleri ise 8.20 civarındadır. Bilindiği üzere flotasyon süresine bağlı olarak alkali yapıdaki anorganik madde flotasyon çamuru olarak uzaklaştırılmakta ve geriye daha düşük alkali yapı kalmaktadır.

Atık su içerisinde bulunan katı maddeler, lif, mineral dolgu maddeleri, lif kırıntıları, mürekkep partikülleri, kolloidal anorganik ve organik maddelerin karışımlarından meydana gelirken bunların oranları üretimde kullanılan atık kağıt türüne ve uygulanan teknolojiye bağlıdır (Badar, 1994). Askıda ve çözünmüş katı maddelerin atık su içerisindeki miktarlarının artması ile KOİ yükü de artmaktadır. Diğer yandan bu katı maddeler, eğer ciddi bir atık su saflaştırma işlemi uygulanmaz ise üretim hattında sayısız problemin oluşmasına ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır (Bulow ve Kroil, 1990).

Flotasyon süresinin artmasına bağlı olarak atık sudaki askıda ve çözünmüş katı madde miktarının azaldığı görülmüştür. Askıda katı madde miktarındaki azalma, flotasyon süresinin artması sayesinde daha fazla anorganik madde ve kırıntı lifin flotasyon çamuru ile uzaklaştırılması, dolayısıyla atık suya daha az miktarda maddenin geçmesi ile açıklanabilirken, çözünmüş katı madde miktarındaki azalma ise yine süreye bağlı olarak flotasyon aşamasında daha fazla miktardaki proses suyunun uzaklaştırılması ve eksilen miktarın taze su ile ikame edilmesi ile açıklanabilir.

Atık kağıt üretimi sırasında ortaya çıkan atık suyun kimyasal oksijen isteği çevresel açıdan en önemli kriterlerden biridir. Ülkeler bu konu ile ilgili yasal zorunluluklar getirmişlerdir.. Diğer yandan atık kağıt üretiminde ortaya çıkan KOİ yükü, kullanılan atık kağıdın türüne, kullanılan ağartıcı kimyasal maddenin yapısına, dozajına ve uygulanan teknolojiye bağlı olarak 1 ton kağıt hamuru üretimi için 4 ile 150 kg arasında değişebilmektedir (Süss vd., 1995).

Aynı tabloda KOİ değerleri mg/L-atık su ve kg/ton-kağıt hamuru olarak verilmiştir. Baz kağıtlara ait değerler ortalama 160 mg/L olarak bulunurken ilk ağartmalara ait atık suların ortalama KOİ yükü 220 mg/L olarak bulunmuştur. Atık sudaki KOİ yükünün flotasyon süresinin artmasına paralel olarak azalması flotasyon çamuru ile uzaklaştırılan madde miktarı arttığından atık su içerisine geçen madde miktarında da doğal olarak azalma olması bu durumu açıklayabilir.

Tablo 9'da elde edilen hamur ve atıklardaki anorganik-organik dengesi verilmiştir. Baz kağıt olarak kullanılan fotokopi kağıdının (FK) içerdiği anorganik madde veya kül oranı % 16.67 olarak bulunmuştur. Diğer yandan AH ve BH kağıt hamurlarının anorganik madde miktarları ortalama % 14.80 civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu proseslerde flotasyon işlemi olmaması sebebi ile kayıplar, kesafet artırma işlemi sırasında elekten atık suya karışan dolgu maddelerinden oluşmaktadır.



**Tablo 9.** Hamur ve atıklardaki anorganik-organik madde dengesi

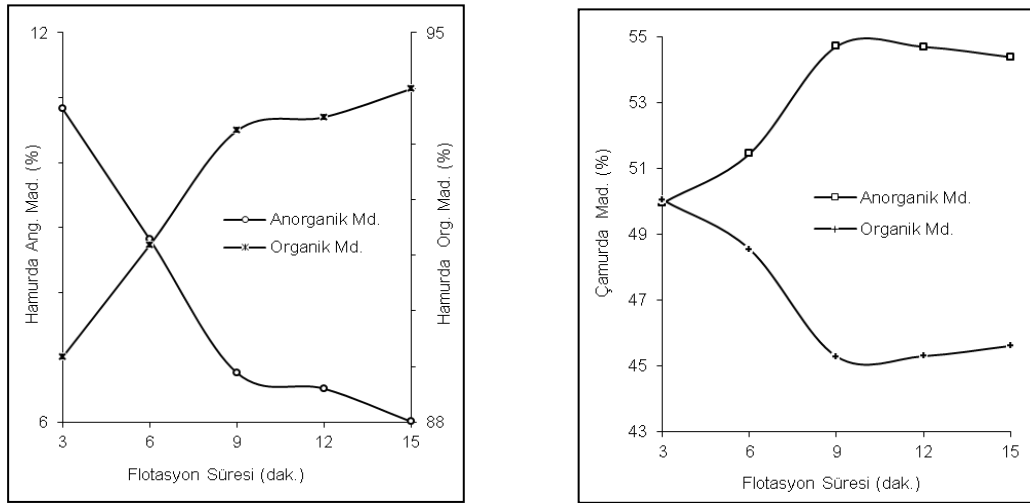
Pros. No	Kağıt Hamuru		Flotasyon Çamuru		Atık Suda AKM		ISO Test Kağıdı	
	Org. Mad. (%)	Anorg. Mad. (%)	Org. Mad. (%)	Anorg. Mad. (%)	Org. Mad. (%)	Anorg. Mad. (%)	Org. Mad. (%)	Anorg. Mad. (%)
FK	83.33	16.67	-	-	-	-	-	-
AH	85.15	14.85	-	-	28.22	71.78	97.18	2.82
BH	85.24	14.76	-	-	27.99	72.01	97.52	2.48
CH1	89.17	10.83	50.05	49.95	29.42	70.58	98.32	1.68
CH2	91.19	8.81	48.55	51.45	28.75	71.25	98.66	1.34
CH3	93.24	6.76	45.29	54.71	27.44	72.56	98.08	1.92
CH4	93.48	6.52	45.30	54.70	29.11	70.89	98.25	1.75
CH5	93.99	6.01	45.61	54.39	28.41	71.59	98.18	1.82

Flotasyon işlemine tabi tutulan hamurlarda bulunan anorganik madde miktarı ortalama % 7 civarındadır. Bu oranın baz kağıtta % 16.67 civarında olduğu göz önüne alınırsa, toplam anorganik madde miktarının ortalama % 58 kadarının uzaklaştığı görülmektedir.

Şekil 6'da görüldüğü üzere ilk 9 dakika flotasyon süresine kadar kağıt hamuru içerisinde hızlı bir şekilde anorganik madde uzaklaştırılırken takip eden sürelerde uzaklaştırılan anorganik madde miktarında bir durağanlaşma gözlenmiş ve hatta sürenin daha da uzaması ile birlikte hamur içerisindeki anorganik madde oranında hafif bir düşme görülmüştür. Bu durum flotasyonun ilk aşamalarında flotasyon hücresinin üzerinden hızlı bir

biçimde anorganik madde sıyrılması söz konusu iken devam eden sürelerde anorganik maddenin azalmasına bağlı olarak lif kırıntıları ve liflerin de uzaklaştırılması ile açıklanabilir.

Aynı durum flotasyon çamur içeriğini gösteren ikinci şekilde de rahatlıkla görülmektedir. Burada da flotasyon süresinin ilk 9 dakikasına kadar çamur içerisindeki anorganik madde oranı % 50 den başlayarak % 55 civarına kadar hızlı bir artış kaydederken sürenin uzaması ile birlikte çamur içerisindeki anorganik madde oranı yavaş yavaş azalmış, bunun yerini lif kırıntıları ve liflerden kaynaklanan organik maddeler doldurmaya başlamıştır.



**Şekil 6.** Flotasyon süresine bağlı olarak elde edilen kağıt hamuru ve uzaklaşan flotasyon çamuru içerisindeki anorganik-organik madde dengesi

Elde edilen kağıt hamurundan üretilecek nihai kağıdın anorganik madde içeriği doğrudan bu kağıdın kullanım yerine bağlıdır. Örneğin temizlik kağıdı üretiminde % 2-3 civarında dolgu maddesi istenirken yazı kağıtlarında bu oran % 15-20 civarlarına çıkmaktadır. Bu sebeple dolgu maddesinin uzaklaştırma isteği üretilecek kağıdın türüne bağlı olarak değişecektir. Tablo 9'da fiziksel ve optik testlerin yapılabilmesi amacıyla elde edilen standart ISO laboratuvar test kağıtlarının içerdiği dolgu madde oranları görülmektedir. % 14.80 civarında dolgu madde içerikli AH ve BH hamurlarından elde edilen kağıtlarda dolgu madde oranı ortalama % 2.65 olarak bulunmuştur. Diğer yandan ortalama % 7.78 oranında dolgu madde içerikli flotasyon hamurlarına ait standart test kağıtlarının anorganik içeriği % 1.70 olarak bulunmuştur.

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Mürekkep giderme işleminde elde edilecek kağıt hamuru verimini, birinci derecede atık kağıt içerisinde bulunan

anorganik yükün ve flotasyon süresinin etkilediği ortadadır. Diğer madde kayıpları ise, kesafet artırma işlemi sırasında atık suya karışan maddelerden oluşmaktadır.

Flotasyon süresi bir yandan hamur verimini etkilerken diğer yandan flotasyon çamurundaki anorganik madde miktarını ve dolayısıyla kağıt hamurundaki anorganik-organik madde dengesini ciddi şekilde etkilemiştir. Çamur içerisindeki anorganik madde miktarı flotasyon süresinin ilk 9 dakikasına kadar hızlı bir şekilde artarken daha sonraki sürelerde bu durum tersine dönmüştür. Sonuç olarak, belli kritik süreden sonra flotasyon işlemine devam etmek, elde edilecek kağıt hamur niteliğini artırmadığı gibi lif kayıplarına da sebep olmaktadır. Bunun sebebi ortamda bulunan dolgu maddesi oranının hızla düşmesidir.

Bu çalışmada baz kağıt olarak kullanılan fotokopi kağıdı içerisindeki anorganik maddenin % 16.67 olduğu ve son ağartma ile elde edilen hamura ait test kağıdı içerisindeki anorganik madde miktarının % 1.5 olduğu gerçeğinden hareketle

yaklaşık % 15 civarında bir madde kaybının olduğu görülecektir. Dolayısıyla kağıt hamuru verimini, başlangıçtaki atık kağıda ait anorganik madde miktarının ciddi anlamda etkilediği unutulmamalıdır.

ISO standart test kağıtlarının tüm proseslerde ortalama % 1.5 civarında anorganik madde içerdiği saptanmıştır. Sonuçta belli miktar anorganik maddenin uzaklaştırılamadığı görülmüştür.

Hamurlaştırma prosesinde NaOH/FAS oranı  $\frac{1}{2}$  olarak belirlenmiş ve hamurlaştırma sonundaki pH değerlerinin ortalama 7.5 civarında olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, FAS ile ağartma işleminde NaOH/FAS oranının  $\frac{1}{2}$  olması çoğu zaman en iyi sonuçları verse de asıl önemli nokta nihai pH değeridir.

Flotasyon süresinin artışına paralel olarak kağıt hamurundaki anorganik madde yükünün azaldığı bunun sonucunda da kopma, patlama ve yırtılma indisleri gibi fiziksel özellikleri olumlu yönde etkilediği görülmüştür. SR° ise flotasyon süresinin uzamasına bağlı olarak düşme eğilimi göstermiştir.

Kullanılan baz fotokopi kağıdına ait UV filtreli ve UV filtresiz ortamda gerçekleştirilen parlaklık ve beyazlık değerleri arasında büyük farklılığın tespit edilmesi ile bu kağıtta üretim aşamasında flüoresans etkiye sahip kimyasal maddelerin kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Flotasyon süresi uzadıkça floresan etkinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Optik testlerle ilgili diğer önemli bir konu ise test kağıtlarının üst ve alt yüzeyleri arasındaki farklılıktır. Yüksek optik niteliğe sahip test kağıtlarda üst-alt yüzey arasındaki parlaklık farkı oldukça düşük seviyede bulunurken mürekkep kalıntısının daha fazla bulunduğu test

kağıtlarında ise yüzeyler arasındaki farklılık oldukça belirgindir.

Flotasyon prosesi uygulanmış hamurlara ait optik değerler, AH hamuruna ait optik değerlere yaklaştığı ölçüde ağartmanın mükemmeliyetinden söz edilebilir. Hedeflenen (AH) parlaklık değeri % 79.77 olarak kabul edilirse başlangıç (BH) parlaklık değeri % 46.10 parlaklık değerine sahip kağıt hamuruna uygulanan 15 dakikalık flotasyon süresi sonunda % 63.29 parlaklık derecesi yakalanmıştır.

Flotasyon süresinin artırılması ile daha fazla ağartma sağlanmış bunun sonucunda da parlaklık, beyazlık, ışık geçirgenliği, L\* değeri ve ışık dağıtma katsayısı artarken opaklık ve ışık absorblama katsayıları düşmüş, a\* değeri çok düşük bir değer aralığında daha kırmızı bölgeye doğru ilerlemiştir. b\* değeri ise flotasyon süresinin artırılması ile daha fazla mavi bölgeye yaklaşıırken diğer değişkenlerin artışına bağlı olarak ise mavi bölgeden nötr bölgeye doğru ilerlemiştir.

## KAYNAKLAR

- Badar AT (1994) Environmental impact of recycling in the paper industry. In: Recycled Paper Technology, Mahendre Doshi (Ed.), Tappi Press, pp. 235-245
- Biermann CJ (1996) Handbook of pulping and papermaking, Academic Press, San Diego, CA.
- Borchardt KJ (1993) Effect of process variables in laboratory deinking experiments, Tappi J 76(11):147-154
- Bulow C, Kroil BH (1990) The economic treatment of effluents in a paper mill. In: Recycling Paper: From Fibre to Finished Product. Tappi Press, Atlanta. Vol. I, pp. 254-271
- Carrasco F, Pelach AM, Muñe P (1999) Deinking of high-quality offset papers: influence of consistency, agitation speed and air flow rate in the flotation stage. Tappi J 82(3):125-129
- Crow DR, Secor RF (1987) The ten steps of deinking. Tappi J 70(7):101-106
- Hilgenfeldt S, Koehler SA, Stone HA (2001) Dynamics of coarsening foams: accelerated

- and self-limiting drainage. *Phys Rev Lett* 20:4704-4707
- Jenkins PR (2001) The elmore mystery – the inventive elmore family and their role in the development of the flotation process for mineral concentration. Dragonwheel Books.
- Mahagaonkar MS, Stack KR, Banham PW (1998) The effects of coated magazines on deinking of newsprint after pulping and flotation. *Tappi J* 81(12):101-110
- McCool MA (1993) Flotation deinking in secondary fibre recycling. Spankgenberg, R.J. (ed.), Tappi Press, Atlanta
- McKinney RWJ (1990) Deinking and deinked pulp evaluations- A review of test methods. In: Recycling Paper, From Fibre to Finished Product, Tappi Press. Atlanta, pp. 176-179.
- Sixta H (2006) Handbook of Pulp, Willey-VCH p. 1174.
- Süss HU, Kronis DJ, Nimmerfroh NF (1994) Yield of fillers and fibres in froth flotation. 1994 Tappi Pulping Conference, Tappi Proceedings, Book 3, 1025-1030.
- Süss HU, Nimmerfroh N, Hopf B (1995) Bleaching of wastepaper pulp-changes and limitations. Fourth International Wastepaper Technology Conference, 152-175.
- Zhu JY, Tan F, (2005) On fiber rejection loss in flotation deinking. *The Can J Chem Eng* 83(4):377-382